

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-307200

(43)Date of publication of application : 19.11.1993

(51)Int.Cl.

G02F 1/313
G02B 6/12

(21)Application number : 04-111974

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 30.04.1992

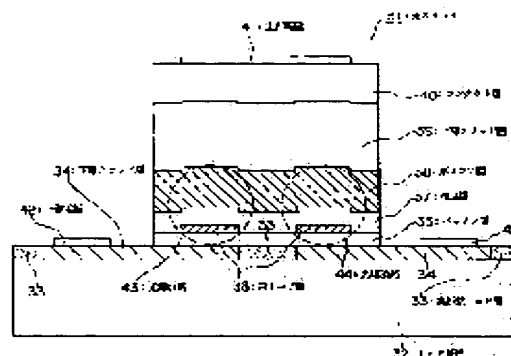
(72)Inventor : HASUMI YUJI

(54) WAVEGUIDE TYPE OPTICAL SWITCH AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PURPOSE: To make a first clad layer thin, to facilitate the inter-element separation, to achieve a monolithic integration on the same substrate and to speed up the action of the elements.

CONSTITUTION: This waveguide-type optical switch 31 is provided with a semi-insulating substrate 32 formed with plural first core layers 34 separated either by a semi-insulating layer or a highly resistant layer on the surface, plural first core layers 36, second core layers 38, a second layer 39 opposite conductive to the clad layers 34, a first electrode 41 and a second electrode 42. Further, the manufacturing method is constituted by injecting an element to be semi-insulated or highly resistant to the part excluding the clad layer of a conductive crystal layer on the surface of the semi-insulating substrate or forming the semi-insulating layer or the highly resistant layer after the same part is selectively removed and subsequently forming the plural first core layers, the second core layers and second clad layers successively.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-307200

(43)公開日 平成5年(1993)11月19日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

G 0 2 F 1/313

7246-2K

G 0 2 B 6/12

J 7036-2K

M 7036-2K

審査請求 未請求 請求項の数20(全 19 頁)

(21)出願番号 特願平4-111974

(22)出願日 平成4年(1992)4月30日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 蓮見 裕二

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

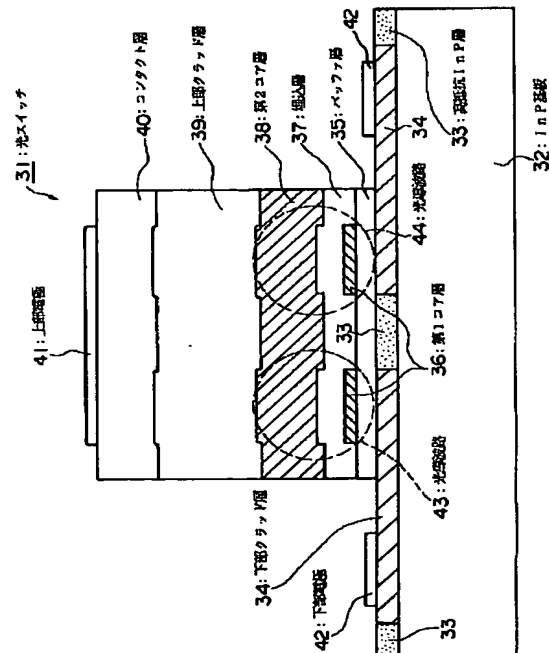
(74)代理人 弁理士 志賀 正武

(54)【発明の名称】 導波路型光スイッチ及びその製造方法

(57)【要約】

【構成】 本発明の導波路型光スイッチ 31 は、表面に半絶縁層、高抵抗層のいずれかにより分離された複数の第1のクラッド層 34 が形成された半絶縁性基板 32、複数の第1コア層 36、第2コア層 38、クラッド層 34 と反対導電型の第2クラッド層 39、第1電極 41、第2電極 42 を具備してなることを特徴とする。また、製造方法は、半絶縁性基板の表面の導電性結晶層のクラッド層以外の部分に半絶縁化または高抵抗化する元素を注入するか、この部分を選択除去した後に半絶縁層または高抵抗層を形成し、次いで、複数の第1コア層、第2コア層、第2クラッド層を順次形成することを特徴とする。

【効果】 第1クラッド層を薄層化することができ、素子間分離が容易となり、同一基板上にモノリシック集積化が可能となり、素子動作の高速化が可能となる。また、複雑な製造工程を省略することができ、高い歩留りが期待できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半絶縁性基板と、

該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、
前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上に設けられた第2のコア層と、該第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、
前記第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、
前記複数の第1のコア層と第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、
これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項2】 半絶縁性基板と、

該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、
前記複数の第1のクラッド層の上に設けられた第1のコア層と、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行に設けられた複数の第2のコア層と、これら第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、
前記複数の第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、
前記第1のコア層と複数の第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、
これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項3】 半絶縁性基板と、

該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、
前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上部に設けられた第2のコア層と、該第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、
前記第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、

前記複数の第1のコア層と第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、

これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項4】 半絶縁性基板と、

該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、
前記複数の第1のクラッド層の上に設けられた第1のコア層と、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行に設けられた複数の第2のコア層と、これら第2のコア層の上部に設けられ前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、
前記複数の第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、

前記第1のコア層と複数の第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、
これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項5】 請求項1、2、3または4記載の導波路型光スイッチにおいて、

前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層は、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項6】 請求項3または4記載の導波路型光スイッチにおいて、

前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層は、
アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造により構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項7】 請求項6記載の導波路型光スイッチにおいて、

前記幅広の方のコア層は、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項8】 半絶縁性基板と、

該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、

前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数のコア層と、これらコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、
前記複数のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、
前記複数のコア層に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項9】 半絶縁性基板と、
該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、
前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数のコア層と、これらコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、
前記複数のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、
前記複数のコア層に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項10】 請求項8または9記載の導波路型光スイッチにおいて、
前記コア層は、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項11】 請求項9記載の導波路型光スイッチにおいて、
前記コア層は、
アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造により構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項12】 請求項11記載の導波路型光スイッチにおいて、
前記コア層は、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成されてなることを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項13】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、
該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項14】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項15】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項16】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項17】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の

複数の第1のクラッド層とし、
前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項18】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、

前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項19】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、

前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【請求項20】 半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、

該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、

前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、

次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、

次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴とする導波路型光スイッチの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光により情報を伝達する光通信システム、光を用いた演算装置や情報処理システム等のキーデバイスとして用いて好適な光スイッチ及びその製造方法に関するものである。

10 【0002】

【従来の技術】従来、この種の半導体導波路型光スイッチの代表的な構造としては、次の2つが挙げられる。まず第1の例としては、図21に示すように、電流の注入に伴う屈折率変化を利用した方向性結合器型光スイッチ（以下、光スイッチと省略する）1がある。この光スイッチ1は、エピタキシャル結晶成長法により、高濃度のn型インジウムリン（n-InP）半導体基板2上に、低濃度のn-InP下部クラッド層3、低濃度のn-InGaAsP第1コア層4、ノンドープInPエッチストップ層5が順次成長され、該ノンドープInPエッチストップ層5上の所定位置にノンドープInGaAsP第2コア層6、6が成長され、これらの第2コア層6、6を埋め込むようにノンドープまたは高抵抗のInP上部クラッド層7が成長され、上部クラッド層7の所定位置に亜鉛（Zn）が拡散されて高濃度のp型半導体の亜鉛拡散層8、8とされ、これらの亜鉛拡散層8、8の周囲に二酸化ケイ素（SiO₂）からなる絶縁膜9が形成され、亜鉛拡散層8、8の各上部に電圧の印加もしくは電流注入を独立に行うための上部電極10、10が形成され、n-InP基板2の底面に下部電極11が形成され、前記第1コア層4と第2コア層6により光導波路12（13）が構成されたものである（参考文献：E. Lallier他、ECOC'91 PD論文集 p44-p47、1991年）。

【0003】この光スイッチ1を動作させるには、上述したようなpin構造の両端に、順方向電圧すなわち上部電極10にプラスの電圧を印加し、第2コア層6へ電流を注入すると、当該第2コア層6の屈折率は注入されたキャリアによって変化する。この結果、電流注入された第2コア層6の光の伝播状態が変化し、方向性結合器の完全結合条件が崩されることによって光の光路が切り換えられ、スイッチングが行われる。また、逆方向電圧すなわち上部電極10にマイナスの電圧を印加し、第2コア層6へ電界を加えても、電気光学効果により該第2コア層6の屈折率が変化し、同様のスイッチングが行われる。

【0004】また、第2の例としては、図22に示すように、電圧の印加に伴う屈折率の変化を利用した方向性結合器型光スイッチ（以下、光スイッチと省略する）21がある。この光スイッチ21は、エピタキシャル結晶

成長法により、高濃度の n - InP 基板2上に、高濃度の n - InP 下部クラッド層22、ノンドープ InGaAs からなる井戸層とノンドープ InAlAs からなるバリア層を多数積層した多重量子井戸構造の第1コア層23、ノンドープ InGaAsP エッチストップ層24、エッチストップ層5が順次成長され、エッチストップ層5上の所定位置にノンドープまたは p 型半導体からなる InGaAsP 第2コア層25、25が成長され、これらの第2コア層25、25を埋め込むように高濃度の p - InP 上部クラッド層26、26、高濃度の p - InGaAs コンタクト層27、27が成長され、上部クラッド層26、26及びコンタクト層27、27の周囲が高抵抗またはノンドープあるいは低濃度の n 型 InP 埋込層28により埋め込まれ、コンタクト層27、27の上部に上部電極10、10が形成され、 n - InP 基板2の底面に下部電極11が形成され、前記第1コア層23と第2コア層25により光導波路29(30)が構成されたものである。

【0005】この光スイッチ21を動作させるには、上述したような pin 構造の両端に、逆方向電圧すなわち上部電極10にマイナスの電圧を印加し、第1コア層23へ電界を加えると、この第1コア層23の量子井戸は量子閉じ込めシュタルク効果(Quantum Confined Stark Effect)により、その吸収係数及び屈折率が変化する。この結果、電圧を印加された第1コア層23の光の伝播状態も変化し、方向性結合器の完全結合条件が崩れることによって光の光路が切り換えられ、スイッチングが行われる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の光スイッチ1においては、各々の光導波路12、13に独立に電圧の印加または電流の注入を行う必要があるが、この光スイッチ1では導電性の n - InP 基板2を共通な導体として共用しているため、各光導波路12、13の電気的分離は、 p 型導電層の形成により行わざるを得ない。このため、この光スイッチ1では上部クラッド層7への亜鉛拡散により、ノンドープあるいは高抵抗の上部クラッド層7内部に p 型の亜鉛拡散層8、8を形成している。しかしながら、本拡散工程は、拡散に必要な高温処理による素子損傷の危険を伴い、また拡散距離の制御が高度の技術を必要とすることから、製造歩留りを著しく低下させるという欠点があった。さらに、導電性基板の使用は、基板上の配線に伴う浮遊容量の増加をもたらす、他の電気素子とのモノリシック集積化における素子間分離を困難にするなどの問題も有しており、素子性能に悪影響を及ぼすという欠点もある。また、下部電極11を前記 n - InP 基板2の底面に配置しなければならないために、工程が煩雑になり製品のコストアップにつながるという欠点もある。

【0007】また、光スイッチ21においては、導電性

の n - InP 基板2を共通な導体として共用しているため、各光導波路29、30の電気的分離は、第2コア層25、25や上部クラッド層26の p 型導電層をリッジ状に加工した後、再度埋め込み成長を行うことで実現せざるを得ない。しかしながら、この埋め込み成長は間隔が $2\mu\text{m}$ と狭い2本のリッジの間を埋め込むために、埋め込む部分とそれ以外の部分との領域選択性に難があるという問題点の他に、光の閉じ込め、及び電極による光損失の回避に必要となる $1.5\sim 2\mu\text{m}$ 程度の厚みを持つ上部クラッド層26、26を、その下の高抵抗層まで彫り込んだ段差の大きいリッジ形状を平坦に埋め込むことは極めて難しく、高度の制御性を必要とするという欠点もあった。また、埋込層28を高抵抗にする際に、被埋込層28であるリッジ部分の p 型半導体からの不純物拡散の影響を受けるために、成長条件の制御がさらに難しくなり、製造歩留りを著しく低下させるという欠点があった。

【0008】さらに、導電性基板の使用は、基板上の配線に伴う浮遊容量の増加をもたらす、他の電気素子とのモノリシック集積化における素子間分離を困難にするなどの問題も有しており、素子性能に悪影響を及ぼすという欠点もあった。また、下部電極11を前記 n - InP 基板2の底面に配置しなければならないために、工程が煩雑になり製品のコストアップにつながるという欠点もある。

【0009】また、従来の光スイッチ1(21)においては、各々の光導波路12、13(29、30)の電気制御を独立に行うため、各導波路12、13(29、30)の電気的な分離が必要であるが、従来の導電性基板を用いた方法では、この分離を実現するために、スイッチを構成するエピタキシャル結晶よりなる多層構造の内、上部クラッド層へ導電性の拡散層を形成したり、上部クラッド層をリッジ状に加工した後、この段差の大きなリッジ形状を高抵抗ないしノンドープの結晶層で再度埋め込むことによりスイッチを形成していたために、難度の高い製造技術が必要となり、素子製造の歩留りを確保することが困難であった。

【0010】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、従来の様々な問題点や欠点を解決するとともに、光導波路間の電気的分離に伴う素子加工または結晶成長の工程上の困難を解決し、製造歩留りを向上させることができる導波路型光スイッチ及びその製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は下記のような導波路型光スイッチ及びその製造方法を採用した。すなわち、請求項1記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板の上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、

前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上に設けられた第2のコア層と、該第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、前記第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記複数の第1のコア層と第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0012】また、請求項2記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、前記複数の第1のクラッド層の上に設けられた第1のコア層と、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上に互いに平行に設けられた複数の第2のコア層と、これら第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、前記複数の第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記第1のコア層と複数の第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0013】また、請求項3記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上部に設けられた第2のコア層と、該第2のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、前記第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記複数の第1のコア層と第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0014】また、請求項4記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、前記複数の第1のクラッド層の上に設けられた第1のコア層と、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上に互いに平行に設けられた複数の第2のコア層と、これら第2のコア層の上部に設けられ前記第1のク

ラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、前記複数の第2のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記第1のコア層と複数の第2のコア層とによりそれぞれ光導波路が構成され、これらの光導波路に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0015】また、請求項5記載の導波路型光スイッチは、請求項1、2、3または4記載の導波路型光スイッチにおいて、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層は、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成されてなることを特徴としている。

【0016】また、請求項6記載の導波路型光スイッチは、請求項3または4記載の導波路型光スイッチにおいて、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層は、アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造により構成されてなることを特徴としている。

【0017】また、請求項7記載の導波路型光スイッチは、請求項6記載の導波路型光スイッチにおいて、前記幅広の方のコア層は、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成されてなることを特徴としている。

【0018】また、請求項8記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層と、前記複数の第1のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記複数の第1のコア層に印加する電圧または注入する電流の大きさを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0019】また、請求項9記載の導波路型光スイッチは、半絶縁性基板と、該半絶縁性基板上に設けられ、半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層と、前記複数の第1のクラッド層各々の上に設けられ互いに平行なる複数の第1のコア層と、これら第1のコア層の上に設けられ前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層と、前記複数の第1のコア層の上に設けられた第1の電極と、前記半絶縁性基板上に設けられた複数の第2の電極とを具備し、前記複数の第1のコア層に印加する電圧または注入する電流の大き

さを制御することにより該光導波路内を伝播する光の光路を切り替えることを特徴としている。

【0020】また、請求項10記載の導波路型光スイッチは、請求項8または9記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層は、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成されてなることを特徴としている。

【0021】また、請求項11記載の導波路型光スイッチは、請求項9記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層は、アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造により構成されてなることを特徴としている。

【0022】また、請求項12記載の導波路型光スイッチは、請求項11記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層は、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成されてなることを特徴としている。

【0023】また、請求項13記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0024】また、請求項14記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0025】また、請求項15記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上

に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0026】また、請求項16記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して互いに分離された複数の第1のクラッド層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0027】また、請求項17記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0028】また、請求項18記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と反対導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0029】また、請求項19記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層各々の上に

10

20

30

40

50

互いに平行なる複数の第1のコア層、これら第1のコア層の上に第2のコア層、該第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0030】また、請求項20記載の導波路型光スイッチの製造方法は、半絶縁性基板の表面に導電性の結晶層を形成し、該結晶層を選択除去して互いに分離された所定の形状の複数の第1のクラッド層とし、前記結晶層の選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成し、次いで、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、該第1のコア層の上かつ前記複数の第1のクラッド層それぞれの上方に互いに平行なる複数の第2のコア層、これら第2のコア層の上に前記第1のクラッド層と同一導電型の第2のクラッド層を順次形成し、次いで、前記第2のコア層の上に第1の電極を、また前記半絶縁性基板上に複数の第2の電極をそれぞれ形成することを特徴としている。

【0031】上述した半絶縁性基板とは、半導体基板のうちで室温付近で絶縁体となるものであり、例えば、インジウムリン(InP)、ガリウムヒ素(GaAs)等のIII-V族化合物半導体が挙げられる。また、結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素としては、例えばInPやGaAs等のIII-V族化合物半導体の結晶層の場合では、酸素(O)、水素(H)、鉄(Fe)、クロム(Cr)等が効果的である。

【0032】

【作用】本発明の請求項1、2、3または4記載の導波路型光スイッチでは、半絶縁性基板を用いることにより、基板による光の吸収がなくなり、該半絶縁性基板を下部クラッドの一部として利用することが可能になる。したがって、第1のクラッド層を薄層化でき、小型化が可能となる。また、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0033】また、半絶縁性基板上に半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層を形成することにより、これらの第1のクラッド層における電気的分離が良好になる。また、第1のコア層と第2のコア層とにより複数の光導波路を構成することにより、コア層の厚みを減少させ、埋め込み成長時の段差を0.5μm程度以下に低減することが可能になり、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することが可能になる。

【0034】また、請求項5記載の導波路型光スイッチでは、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層を、量子井戸構造、量子細線構造、量子

箱構造のいずれかにより構成することにより、スイッチングに要する動作電圧が低下する。

【0035】また、請求項6記載の導波路型光スイッチでは、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層を、アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造とすることにより、スイッチングに要する動作電圧がさらに低下する。

【0036】また、請求項7記載の導波路型光スイッチでは、前記幅広の方のコア層を、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成することにより、スイッチングに要する動作電圧がさらに低下する。

【0037】また、請求項8または9記載の導波路型光スイッチでは、半絶縁性基板を用いることにより、基板による光の吸収がなくなり、該半絶縁性基板を下部クラッドの一部として利用することが可能になる。したがって、第1のクラッド層を薄層化でき、小型化が可能となる。また、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0038】また、半絶縁性基板上に半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層を形成することにより、これらの第1のクラッド層における電気的分離が良好になる。また、一重構造のコア層により複数の光導波路を構成することにより、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することが可能になる。

【0039】また、請求項10記載の導波路型光スイッチでは、前記コア層を、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成することにより、スイッチングに要する動作電圧が低下する。

【0040】また、請求項11記載の導波路型光スイッチでは、前記コア層を、アンドープの量子井戸層と、n型の導電性を有するn型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部がp型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造とすることにより、スイッチングに要する動作電圧がさらに低下する。

【0041】また、請求項12記載の導波路型光スイッチでは、前記コア層を、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成することにより、スイッチングに要する動作電圧がさらに低下する。

【0042】また、請求項13、14、15または16記載の導波路型光スイッチの製造方法では、半絶縁性基

板の表面に形成された導電性の結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入することにより、互いに分離され電気的分離が良好な導電性の複数の第1のクラッド層を形成する。この第1のクラッド層は導波路へ及ぼす電気的作用を良好に分離するため、1.5~2 μmと厚い上部クラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0043】また、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、第2のコア層、第2のクラッド層を順次形成することにより、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことが可能になる。さらに、コア層のみを埋め込むことにより、この層の膜厚は0.5 μm以下とすることが可能となり、埋め込み成長が極めて容易となる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部分への埋め込み成長が不要になる。また、半絶縁性基板を用いることにより、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に素子を集積化することが容易となる。

【0044】また、請求項17、18、19または20記載の導波路型光スイッチの製造方法では、半絶縁性基板の表面に形成された導電性の結晶層を選択除去し、この選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成することにより、互いに分離され電気的分離が良好な導電性の複数の第1のクラッド層を形成する。この第1のクラッド層は導波路へ及ぼす電気的作用を良好に分離するため、1.5~2 μmと厚い上部クラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0045】また、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、第2のコア層、第2のクラッド層を順次形成することにより、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことが可能になる。さらに、コア層のみを埋め込むことにより、この層の膜厚は0.5 μm以下とすることが可能となり、埋め込み成長が極めて容易となる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部分への埋め込み成長が不要になる。また、半絶縁性基板を用いることにより、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に素子を集積化することが容易となる。

【0046】

【実施例】以下、本発明に係る導波路型光スイッチ及びその製造方法の各実施例について説明する。

(第1実施例) 図1は本発明の第1実施例である導波路型光スイッチ(以下、光スイッチと略称)31を示す断面図で、電流の注入または電圧の印加により動作する方向性結合器型光スイッチである。この光スイッチ31はpinの導電性縦構造を有するもので、半絶縁性半導体基板であるInP基板32の表面には、高抵抗InP層33、…により互いに分離され不純物濃度が 5×10^{17}

cm^{-3} の導電性の2つのn-InP下部クラッド層(第1のクラッド層)34、34が形成されている。

【0047】これら下部クラッド層34、34の上には、ノンドープInPバッファ層35が形成され、該バッファ層35の上かつ下部クラッド層34、34の上方には、電気的に分離されかつ互いに平行なノンドープInGaAsP第1コア層36、36が形成され、これらの上に高抵抗またはノンドープInP埋込層37、ノンドープInGaAsP第2コア層38、不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ となるように不純物がドーピングされたp-InP上部クラッド層(第2のクラッド層)39、不純物濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように不純物がドーピングされたp-InGaAsコンタクト層40が順次エピタキシャル成長され、これらバッファ層35ないしコンタクト層40が導波路型光スイッチの構造に加工されている。

【0048】このコンタクト層40の上にはAuZnNi合金とAuを積層した金属蒸着膜からなる上部電極(第1の電極)41が形成され、下部クラッド層34、34それぞれの上にはAuGeNi合金とAuを積層した金属蒸着膜からなる下部電極(第2の電極)42、42が形成されている。そして、2つの第1コア層36、36と第2コア層38とにより光導波路43、44が構成されている。

【0049】次に、この光スイッチ31の製造方法について図2ないし図6に基づき説明する。まず、図2に示すように、InP基板32の上にエピタキシャル成長により不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のn-InP結晶層46を形成する。次いで、図3に示すように、n-InP結晶層46のクラッド層を形成すべき領域46aの上にマスクとなる酸化ケイ素(SiO_2)膜47を形成し、n-InP結晶層46の領域46bに酸素(O)イオン注入48を行い当該領域46bを高抵抗InP層33とし、下部クラッド層34、34を形成する。次いで、図4に示すように、 SiO_2 膜47を取り除き、結晶層46の上にエピタキシャル成長によりバッファ層35、ノンドープInGaAsP層49を形成し、このInGaAsP層49を所定の形状に加工し、第1コア層36、36とする。

【0050】次いで、図5に示すように、バッファ層35及び第1コア層36、36の上に、埋込層37、第2コア層38、上部クラッド層39、コンタクト層40を順次エピタキシャル成長する。次いで、図6に示すように、エピタキシャル成長したバッファ層35ないしコンタクト層40を導波路型光スイッチの構造に加工し、蒸着によりコンタクト層40の上に上部電極41を、また下部クラッド層34、34それぞれの上に下部電極42を形成する。以上により、光スイッチ31を製造することができる。

【0051】この光スイッチ31では、上部電極41に

プラス、下部電極42にマイナスの電圧を加え、pin構造に対して順方向バイアス状態にすると電極を通して各層へ電流が流れる。この電流により第2コア層38に注入されたキャリアが第2コア層38の屈折率を変化させるため、光導波路43、44各々の第1コア層36を通る光の伝播定数が、方向性結合器の完全結合状態より変化し光のスイッチングが生じる。また、上部電極41にマイナス、下部電極42にプラスの電圧を加え、pin構造に対して逆バイアス状態にすると、電極を介して電界が各層に加わる。この電界に基づく電気光学効果によって屈折率変化が第1コア層36に生じ、電流注入の場合と同様な光のスイッチングが起こる。

【0052】以上説明したように、この光スイッチ31によれば、半絶縁性基板であるInP基板32を用いたので、基板による光の吸収がなくなり該InP基板32を下部クラッドの一部として利用することができる。したがって、下部クラッド層34を薄層化することができ小型化が可能となる。また、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0053】また、InP基板32上に高抵抗InP層33、…により互いに分離された下部クラッド層34、34が形成されているので、これらの下部クラッド層34、34における電気的分離を良好にすることができる。また、第1コア層36、36と第2コア層38とにより複数の光導波路43、44を構成したので、これらのコア層の厚みを減少させることができ、埋め込み成長時の段差を0.5μm程度以下に低減することができ、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することができる。

【0054】また、この光スイッチ31の製造方法によれば、InP基板32上にn-InP結晶層46を形成し、該n-InP結晶層46の領域46bに酸素(O)イオン注入48を行い当該領域46bを高抵抗InP層33とし、下部クラッド層34、34を形成することとしたので、互いに分離され電気的分離が良好な下部クラッド層34、34を形成することができ、したがって1.5~2μmと厚いクラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0055】また、InP基板32の上にエピタキシャル成長によりバッファ層35、第1コア層36、36、埋込層37、第2コア層38、上部クラッド層39、コンタクト層40を形成することとしたので、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことができ、さらに、コア層のみを埋め込むことにより当該層の膜厚を0.5μm以下とすることができ、埋め込み成長が極めて容易となる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部

分への埋め込み成長が不要になる。

【0056】なお、この光スイッチ31においては、半絶縁性基板としてInP基板32を用いたが、該InP基板32に限定されることなく様々な材料の半絶縁性基板を適用することが可能である。例えば、GaAs基板を用いた場合では、該GaAs基板にGaAsとAlGaAsをエピタキシャル成長させても同様の効果を奏することができる。

【0057】(第2実施例)図7は本発明の第2実施例である導波路型光スイッチ51を示す断面図で、電流の注入または電圧の印加により動作する方向性結合器型光スイッチである。なお、図中、上述した光スイッチ31と同一の構成要素には同一の符号を付し説明を省略する。この光スイッチ51はpinの導電性縦構造を有するもので、InP基板32の表面には、高抵抗InP層52、…により互いに分離された2つの下部クラッド層34、34が形成されている。

【0058】これら下部クラッド層34、34の上にバッファ層35、ノンドープInGaAlAs量子井戸層とInAlAsバリア層からなる多重量子井戸構造の第1コア層53、ノンドープInPエッチストップ層54、不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように不純物がドーピングされて電氣的に分離されかつ互いに平行なp-InGaAsP第2コア層55、55が順次エピタキシャル成長され、このエッチストップ層54及び第2コア層55、55の上に上部クラッド層39、コンタクト層40が順次エピタキシャル成長され、これらバッファ層35ないしコンタクト層40が導波路型光スイッチの構造に加工されている。

【0059】このコンタクト層40の上には上部電極41が形成され、下部クラッド層34、34それぞれの上には下部電極42、42が形成されている。そして、第1コア層53と2つの第2コア層55、55とにより光導波路56、57が構成されている。

【0060】次に、この光スイッチ51の製造方法について図8ないし図13に基づき説明する。まず、図8に示すように、InP基板32の上にエピタキシャル成長によりn-InP結晶層46を形成する。次いで、図9に示すように、n-InP結晶層46のクラッド層を形成すべき領域46aの上にマスクとなるSiO₂膜47を形成し、ドライエッチング加工またはウェットエッチング加工によりn-InP結晶層46の領域46a以外の領域46bを除去し、除去されなかった領域46a、46aを下部クラッド層34、34とする。次いで、図10に示すように、SiO₂膜47をマスクとして領域46bに高抵抗InP層52を選択成長させて表面の平坦化を行い、その後SiO₂膜47を取り除く。

【0061】次いで、図11に示すように、下部クラッド層34、34及び高抵抗InP層52、…の上に、エピタキシャル成長によりバッファ層35、第1コア層5

10

20

30

40

50

3、エッチストップ層54、 $p\text{-InGaAsP}$ 層58を形成する。次いで、図12に示すように、 $p\text{-InGaAsP}$ 層58を所定の形状に加工し、第2コア層55、55とする。次いで、このエッチストップ層54及び第2コア層55、55の上に、上部クラッド層39、コンタクト層40を順次エビタキシャル成長する。

【0062】次いで、図13に示すように、エビタキシャル成長したバッファ層35ないしコンタクト層40を導波路型光スイッチの構造に加工し、蒸着によりコンタクト層40の上に上部電極41を、また下部クラッド層34、34それぞれの上に下部電極42を形成する。以上により、光スイッチ51を製造することができる。

【0063】この光スイッチ51では、上部電極41にプラス、下部電極42にマイナスの電圧を加え、 pin 構造に対して順方向バイアス状態にすると電極を通して各層へ電流が流れる。この電流により第2コア層55に注入されたキャリアが第2コア層55の屈折率を変化させるため、光導波路56、57各々の第2コア層55を通る光の伝播定数が、方向性結合器の完全結合状態より変化し光のスイッチングが生じる。また、上部電極41にマイナス、下部電極42にプラスの電圧を加え、 pin 構造に対して逆バイアス状態にすると、電極を介して電界が各層に加わる。この電界に基づく量子閉じ込めシュタルク効果により、多重量子井戸構造からなる第1コア層53に屈折率変化が生じ、電流注入の場合と同様な光のスイッチングが起こる。

【0064】以上説明したように、この光スイッチ51によれば、半絶縁性基板である InP 基板32を用いたので、基板による光の吸収がなくなり該 InP 基板32を下部クラッドの一部として利用することができる。したがって、下部クラッド層34を薄層化することができ小型化が可能となる。また、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0065】また、 InP 基板32の表面に、高抵抗 InP 層52、…により互いに分離された2つの下部クラッド層34、34が形成されているので、これら下部クラッド層34、34における電気的分離を良好にすることができる。また、第1コア層53と第2コア層55、55とにより複数の光導波路56、57を構成したので、これらのコア層の厚みを減少させることができ、埋め込み成長時の段差を $0.5\mu m$ 程度以下に低減することができ、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することができる。

【0066】また、第1コア層53をノンドープ $InGaAlAs$ 量子井戸層と $InAlAs$ バリア層からなる多重量子井戸構造としたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0067】また、この光スイッチ51の製造方法によれば、ドライエッチング加工またはウェットエッチング加工により InP 基板32上に形成された $n\text{-InP}$ 結晶層46の領域46bを除去し、当該領域46bに高抵抗 InP 層52を選択成長させて下部クラッド層34、34を形成することとしたので、互いに分離され電気的分離が良好な下部クラッド層34を形成することができ、したがって $1.5\sim 2\mu m$ と厚いクラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0068】また、下部クラッド層34、34及び高抵抗 InP 層52、…の上に、エビタキシャル成長によりバッファ層35、第1コア層53、エッチストップ層54、第2コア層55、55、上部クラッド層39、コンタクト層40を形成することとしたので、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことができ、さらに、コア層のみを埋め込むことにより当該層の膜厚を $0.5\mu m$ 以下とすることができ、埋め込み成長が極めて容易となる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部分への埋め込み成長が不要になる。

【0069】なお、この光スイッチ51においても、上述した光スイッチ31と同様、半絶縁性基板としては InP 基板32に限定されことなく様々な材料の半絶縁性基板を適用することが可能である。

【0070】(第3実施例)図14ないし図16は本発明の第3実施例である導波路型光スイッチ61を示す図であり、電流の注入または電圧の印加により動作する方向性結合器型光スイッチである。この光スイッチ61は、エビタキシャル層の構成は第1実施例の光スイッチ31と同様であり、異なる点は、バッファ層35ないしコンタクト層40を導波路型光スイッチの構造に加工した後、このスイッチ本体部分62を囲む周囲部分(光導波路の引き廻し部分)63に高抵抗またはノンドープの InP 埋込層64を埋め込み、この埋込層64に表面から下部クラッド層34に至るスルーホール65、65を開け、各層との不必要な電気接触を避けるため絶縁膜66をこれらのスルーホール65、65の内面に形成し、これらのスルーホール65、65内に配線金属膜からなる下部電極67を形成した点である。

【0071】この光スイッチ61では、上部電極41にプラス、下部電極67にマイナスの電圧を加え、 pin 構造に対する順方向バイアス状態にすると電極を通して各層へ電流が流れる。この電流により第2コア層38に注入されたキャリアが該第2コア層38の屈折率を変化させるため、第1コア層36を通る光の伝播定数が、方向性結合器の完全結合状態より変化し光のスイッチングが生じる。また、上部電極41にマイナス、下部電極67にプラスの電圧を加え、 pin 構造に対する逆バイアス状態にすると、電極を介して電界が各層に加わる。この電界に基づく電気光学効果によって屈折率変化が第1

コア層36に生じ、電流注入の場合と同様な光のスイッチングが起こる。

【0072】以上説明したように、この光スイッチ61においても、前記光スイッチ31と全く同様の作用・効果を奏することができる。しかも、スイッチ本体部分62を囲む周囲部分63を埋込層64により形成したので、導電性結晶による光の吸収が避けられ、光導波損失の低減を図ることができる。

【0073】なお、上部クラッド層39については、光の閉じ込めを強め、曲線導波路での放射損失を低減させるため、図17に示すようにリッジ構造68としてもよい。また、第2コア層38は、InGaAsP結晶により構成することとしたが、前記結晶以外の構成、例えばInGaAs/InAlAsのような多重量子井戸構造としてもよい。この場合、該第2コア層38の光吸収が無視できず、引き廻し導波路のコア層として不適な場合は、このコア層まで除去し、改めてノンドープInGaAsPコア層及び高抵抗またはノンドープのInP上部クラッド層を埋め込み成長してもよい。

【0074】また、この光スイッチ61においても、上述した光スイッチ31、51と同様に該InP基板32に限定されることなく様々な材料の半絶縁性基板を適用することが可能である。

【0075】(第4実施例)図18は本発明の第4実施例である導波路型光スイッチ71を示す断面図で、電圧の印加により動作する方向性結合器型光スイッチである。また、図19及び図20は該光スイッチ71の第2コア層のバンドダイアグラムである。なお、図中、上述した光スイッチ31、51、61と同一の構成要素には同一の符号を付し説明を省略する。

【0076】この光スイッチ71は、同一導電型の導電性縦構造を有するもので、下部クラッド層、上部クラッド層及びコンタクト層を同一導電型(n型)の構造とすること、及び第2コア層を電圧の印加によって屈折率が大きく変化する量子井戸構造とする点に特徴がある。

【0077】この光スイッチ71は、表面に高抵抗InP層33、…により互いに分離された下部クラッド層34、34が形成されたInP基板32上に、バッファ層35、第1コア層34、34が順次形成され、これらの上に埋込層37、第2コア層72、不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように不純物がドーピングされたn-InP上部クラッド層(第2のクラッド層)73、不純物濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように不純物がドーピングされたn-InGaAsコンタクト層74が順次エピタキシャル成長され、これらバッファ層35ないしコンタクト層74が導波路型光スイッチの構造に加工されている。

【0078】コンタクト層74の上にはAuGeNi合金とAuを積層した金属蒸着膜からなる上部電極(第1の電極)75が形成され、下部クラッド層34、34そ

れぞれの上には下部電極42、42が形成されている。そして、2つの第1コア層36、36と第2コア層72とにより光導波路76、77が構成されている。

【0079】第2コア層72は、n-InGaAlAs層72a、p-InAlAs層72b、ノンドープのInGaAs層72c、n-InGaAlAs層72dの4層からなり、InGaAs層72cが量子井戸となっている。

【0080】この光スイッチ71を製造するには、InP基板32の表面に高抵抗InP層33、…により互いに分離された下部クラッド層34、34を形成し、このInP基板32の上にエピタキシャル成長によりInPバッファ層35、第1コア層36、36を形成し、次いでこれらの上に埋込層37、第2コア層72、上部クラッド層73、コンタクト層74を形成し、バッファ層35ないしコンタクト層74を導波路型光スイッチの構造に加工し、蒸着によりコンタクト層74の上に上部電極75を、また下部クラッド層34、34それぞれの上に下部電極42を形成する。

【0081】ここで、第2コア層72のバンドダイアグラムについて説明する。この第2コア層72に電界が印加されていない場合、図19に示すように、InGaAs層72cの量子井戸内の電子の第1量子準位 E_{e1} は、フェルミ準位 E_F より上にあるため、量子井戸内の電子濃度は低い。

【0082】ここで、第2コア層72に電界を印加した場合、例えば図20に示すように図中右側へプラスの電位をかける、すなわちn-InGaAlAs層72aとp-InAlAs層72bとの間のpn接合に逆バイアスをかけると、量子井戸の電子の第1量子準位 E_{e1} はフェルミ準位 E_F より下がるため、電子はn-InGaAlAs層72dよりInGaAs層72cの量子井戸内へ移動する。この結果、量子井戸内におけるエキシトンの効果が、移動した電子によるバンドフィリング効果によって抑制されるため、該第2コア層72の屈折率が変化する。したがって、この動作原理により、2本の光導波路76、77を通る光の伝播定数が、方向性結合器の完全結合状態より変化し、光のスイッチングが生じる。

【0083】以上説明したように、この光スイッチ71によれば、半絶縁性基板であるInP基板32を用いたので、基板による光の吸収がなくなり該InP基板32を下部クラッドの一部として利用することができる。したがって、下部クラッド層34を薄層化することができ小型化が可能となる。また、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0084】また、InP基板32上に高抵抗InP層33、…により互いに分離された下部クラッド層34、34が形成されているので、これら下部クラッド層3

4, 34における電氣的分離を良好にすることができる。また、第1コア層36, 36と第2コア層72とにより複数の光導波路76, 77を構成したので、これらのコア層の厚みを減少させることができ、埋め込み成長時の段差を0.5 μm 程度以下に低減することができ、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することができる。

【0085】さらに、第2コア層72を、 $n\text{-InGaAlAs}$ 層72a、 $p\text{-InAlAs}$ 層72b、ノンドープの InGaAs 層72c、 $n\text{-InGaAlAs}$ 層72dの4層からなり、 InGaAs 層72cを量子井戸構造としたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0086】なお、この光スイッチ71においては第2コア層72を単一量子井戸構造としたが、該単一量子井戸構造を繰り返した多重量子井戸構造、例えば上述した $n\text{-InGaAlAs}$ 層72a、 $p\text{-InAlAs}$ 層72b、ノンドープの InGaAs 層72c、 $n\text{-InGaAlAs}$ 層72dの4層を周期的に繰り返した多重量子井戸構造としてもよい。この場合、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0087】また、この光スイッチ71においても、上述した光スイッチ31, 51, 61と同様に該 InP 基板32に限定されることなく様々な材料の半絶縁性基板を適用することが可能である。

【0088】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の請求項1, 2, 3または4記載の導波路型光スイッチによれば、半絶縁性基板を用いたので、基板による光の吸収がなくなり該半絶縁性基板を下部クラッドの一部として利用することができる。したがって、第1のクラッド層を薄層化することができ小型化が可能となる。また、他の電氣的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0089】また、半絶縁性基板上に半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層を形成することとしたので、これらの第1のクラッド層における電氣的分離を良好とすることができる。また、第1のコア層と第2のコア層とにより複数の光導波路を構成することとしたので、これらのコア層の厚みを減少させることができ、埋め込み成長時の段差を0.5 μm 程度以下に低減することができ、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することができる。

【0090】また、請求項5記載の導波路型光スイッチによれば、請求項1, 2, 3または4記載の導波路型光

スイッチにおいて、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層を、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成することとしたので、スイッチングに要する動作電圧を低下させることができる。

【0091】また、請求項6記載の導波路型光スイッチによれば、請求項3または4記載の導波路型光スイッチにおいて、前記第1及び第2のコア層のうち、少なくとも幅広の方のコア層を、アンドープの量子井戸層と、 n 型の導電性を有する n 型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部が p 型の導電性を有し、かつ前記量子井戸層及び n 型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造とすることとしたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0092】また、請求項7記載の導波路型光スイッチによれば、請求項6記載の導波路型光スイッチにおいて、前記幅広の方のコア層を、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成することとしたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0093】また、請求項8または9記載の導波路型光スイッチによれば、半絶縁性基板を用いることとしたので、基板による光の吸収がなくなり該半絶縁性基板を下部クラッドの一部として利用することができる。したがって、第1のクラッド層を薄層化することができ小型化が可能となる。また、他の電氣的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に他の素子とのモノリシック集積化が可能となり、配線などの浮遊容量を削減でき、素子動作の高速化が可能となる。

【0094】また、半絶縁性基板上に半絶縁層または高抵抗層のいずれかにより互いに分離された導電性の複数の第1のクラッド層を形成することとしたので、これらの第1のクラッド層における電氣的分離を良好とすることができる。また、一重構造のコア層により複数の光導波路を構成することとしたので、埋め込み成長の困難性を緩和することができる。したがって、製造が容易で高い歩留りの導波路型光スイッチを提供することが可能になる。

【0095】また、請求項10記載の導波路型光スイッチによれば、請求項8または9記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層を、量子井戸構造、量子細線構造、量子箱構造のいずれかにより構成することとしたので、スイッチングに要する動作電圧を低下させることができる。

【0096】また、請求項11記載の導波路型光スイッチによれば、請求項9記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層を、アンドープの量子井戸層と、 n 型の導電性を有する n 型導電層と、これらの層の中間の導電性を有し、少なくともその一部が p 型の導電性を有し、

10

20

30

40

50

かつ前記量子井戸層及びn型導電層を構成する半導体よりもバンドギャップの広い半導体からなる中間層とからなる3層構造とすることとしたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0097】また、請求項12記載の導波路型光スイッチによれば、請求項11記載の導波路型光スイッチにおいて、前記コア層を、前記3層構造を繰り返してなる多層構造により構成することとしたので、スイッチングに要する動作電圧をさらに低下させることができる。

【0098】また、請求項13、14、15または16記載の導波路型光スイッチの製造方法によれば、半絶縁性基板の表面に形成された導電性の結晶層のクラッド層を形成すべき部分以外の部分に該結晶層を半絶縁化または高抵抗化する元素を注入して複数の第1のクラッド層を形成することとしたので、互いに分離され電気的分離が良好な第1のクラッド層を形成することができ、したがって1.5〜2μmと厚い上部クラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0099】また、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、第2のコア層、第2のクラッド層を順次形成することとしたので、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことができる。さらに、コア層のみを埋め込むことにより、この層の膜厚は0.5μm以下とすることができ、埋め込み成長を極めて容易に行うことができる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部分への埋め込み成長が不要になる。また、半絶縁性基板を用いることとしたので、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に素子を集積化することができる。

【0100】また、請求項17、18、19または20記載の導波路型光スイッチの製造方法によれば、半絶縁性基板の表面に形成された導電性の結晶層を選択除去し、この選択除去された部分に半絶縁層または高抵抗層を形成することとしたので、互いに分離され電気的分離が良好な第1のクラッド層を形成することができ、したがって1.5〜2μmと厚い上部クラッド層を再成長で埋め込む工程や、亜鉛の拡散工程を避けることができ、製造が容易となる。

【0101】また、これら複数の第1のクラッド層の上に第1のコア層、第2のコア層、第2のクラッド層を順次形成することとしたので、各導波路へ独立に電気的作用を及ぼすことができる。さらに、コア層のみを埋め込むことにより、この層の膜厚は0.5μm以下とすることができ、埋め込み成長を極めて容易に行うことができる。したがって、従来においてなされた段差の大きな部分への埋め込み成長が不要になる。また、半絶縁性基板を用いることとしたので、他の電気的作用を行う素子との間の素子間分離が容易となり、同一基板上に素子を集積化することができる。

【0102】以上により、従来、導波路間の電気分離をとるために必要としていた複雑な製造工程を省略することができ、高い歩留りが期待できる導波路型光スイッチ及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチを示す断面図である。

【図2】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図3】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図4】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図5】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図6】本発明の第1実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図7】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチを示す断面図である。

【図8】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図9】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図10】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図11】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図12】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図13】本発明の第2実施例の導波路型光スイッチの製造方法を示す過程図である。

【図14】本発明の第3実施例の導波路型光スイッチを示す斜視図である。

【図15】図14のA-A線に沿う断面図である。

【図16】図14のB-B線に沿う断面図である。

【図17】本発明の第3実施例の導波路型光スイッチの上部クラッド層の変形実施例を示す断面図である。

【図18】本発明の第4実施例の導波路型光スイッチを示す断面図である。

【図19】本発明の第4実施例の導波路型光スイッチの第2コア層のバンドダイアグラムを示す図である。

【図20】本発明の第4実施例の導波路型光スイッチの第2コア層のバンドダイアグラムを示す図である。

【図21】従来の導波路型光スイッチを示す断面図である。

【図22】従来の導波路型光スイッチを示す断面図である。

【符号の説明】

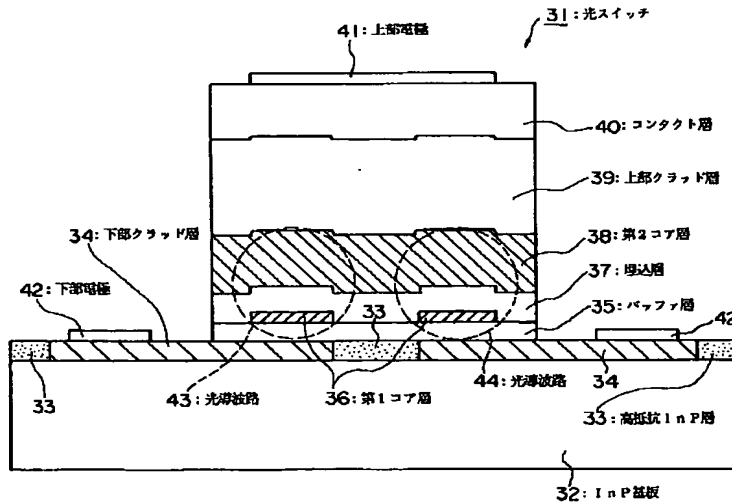
31 光スイッチ

32 InP基板(半絶縁性基板)

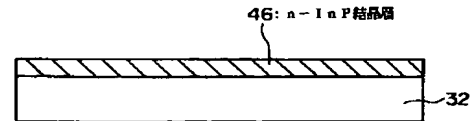
33 高抵抗InP層
 34 n-InP下部クラッド層(第1のクラッド層)
 35 ノンドープのInPバッファ層
 36 ノンドープInGaAsP第1コア層
 37 高抵抗またはノンドープのInP埋込層
 38 ノンドープInGaAsP第2コア層
 39 p-InP上部クラッド層(第2のクラッド層)
 40 p-InGaAsコンタクト層
 41 上部電極(第1の電極)
 42 下部電極(第2の電極)
 43, 44 光導波路
 46 n-InP結晶層
 46a クラッド層を形成すべき領域
 46b 領域46a以外の領域
 47 酸化ケイ素(SiO₂)膜
 48 酸素(O)イオン注入
 49 ノンドープInGaAsP層
 51 光スイッチ
 52 高抵抗InP層
 53 多重量子井戸構造の第1コア層
 54 ノンドープInPエッチストップ層
 55 p-InGaAsP第2コア層

* 56, 57 光導波路
 58 p-InGaAsP層
 61 光スイッチ
 62 スイッチ本体部分
 63 周囲部分
 64 高抵抗またはノンドープのInP埋込層
 65 スルーホール
 66 絶縁膜
 67 下部電極
 10 68 リッジ構造
 71 光スイッチ
 72 第2コア層
 72a n-InGaAlAs層
 72b p-InAlAs層
 72c ノンドープInGaAs層(量子井戸)
 72d n-InGaAlAs層
 73 n-InP上部クラッド層(第2のクラッド層)
 74 n-InGaAsコンタクト層
 75 上部電極(第1の電極)
 20 76, 77 光導波路
 E₁ 量子井戸の電子の第1量子準位
 * E_F フェルミ準位

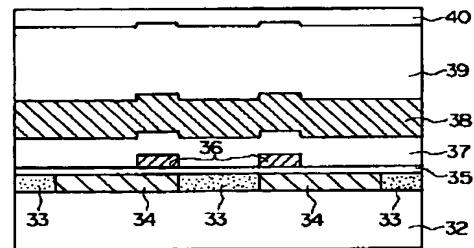
【図1】



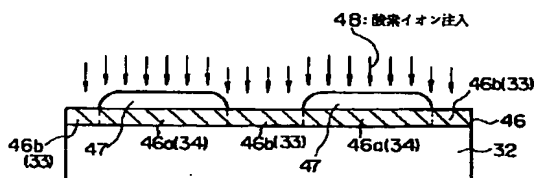
【図2】



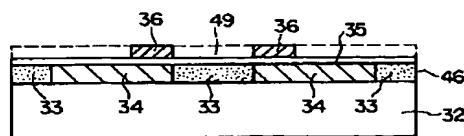
【図5】



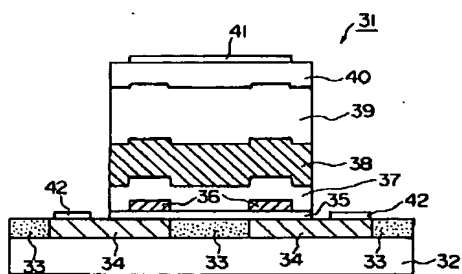
【図3】



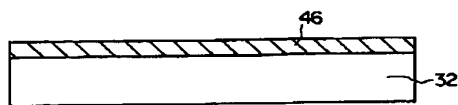
【図4】



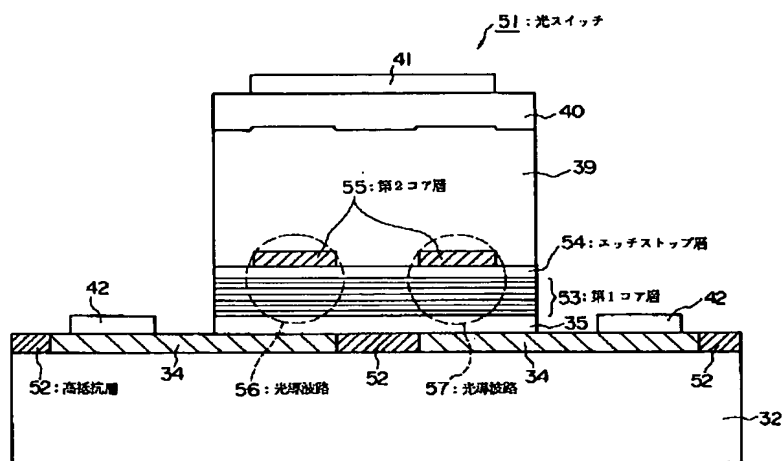
【図6】



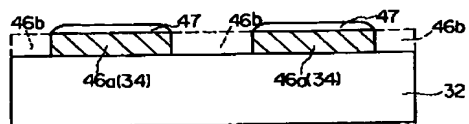
【図8】



【図7】



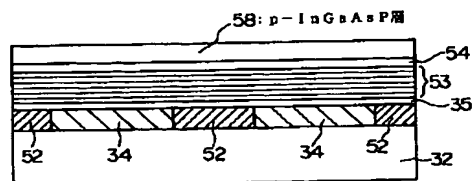
【図9】



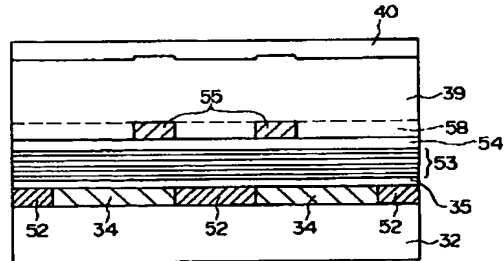
【図10】



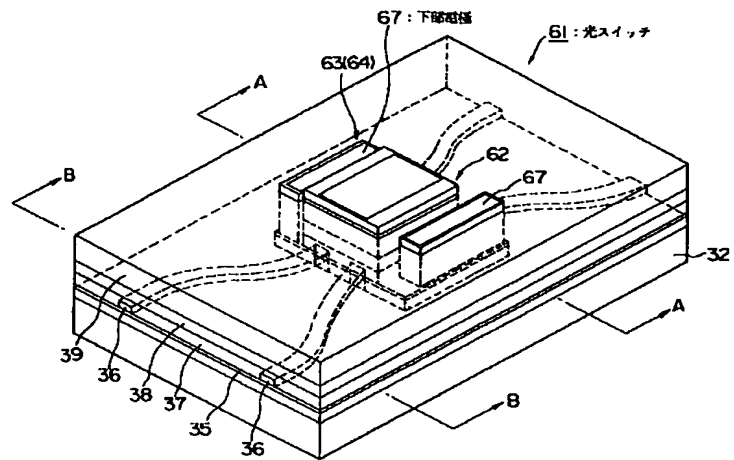
【図11】



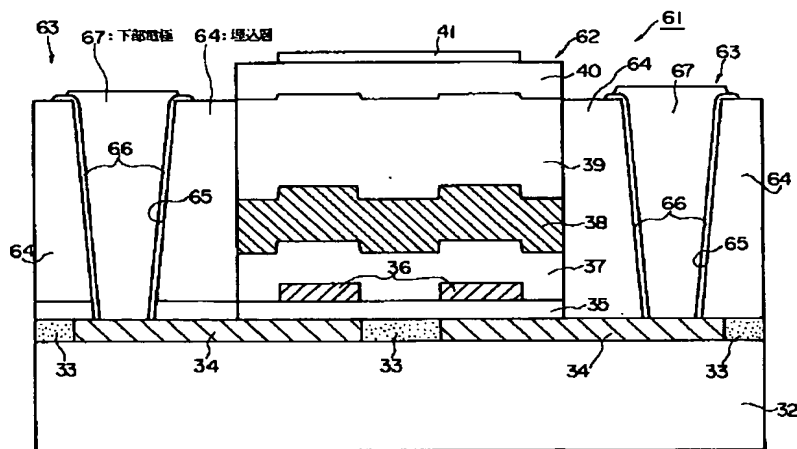
【図12】



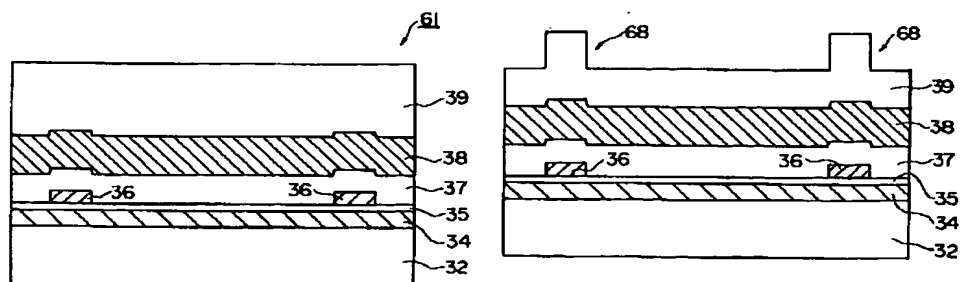
【図 14】



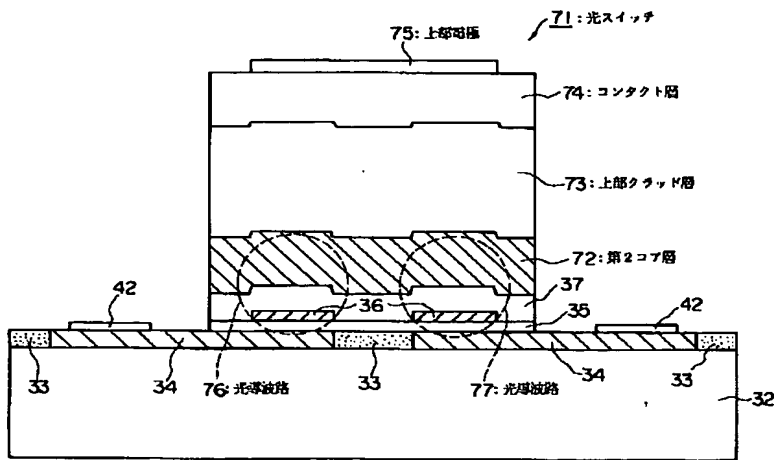
【圖 15】



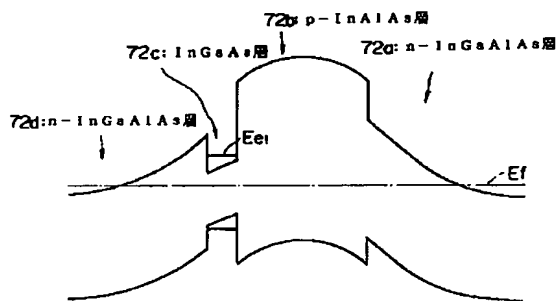
【圖 17】



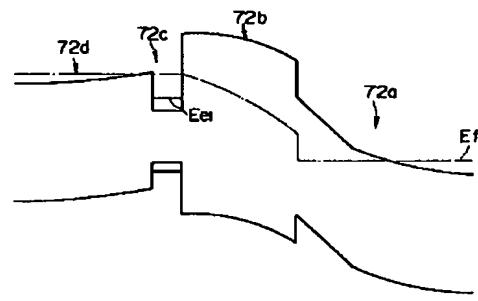
【図18】



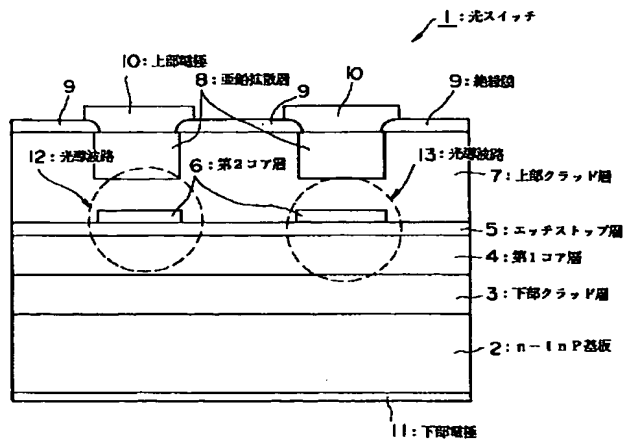
【図19】



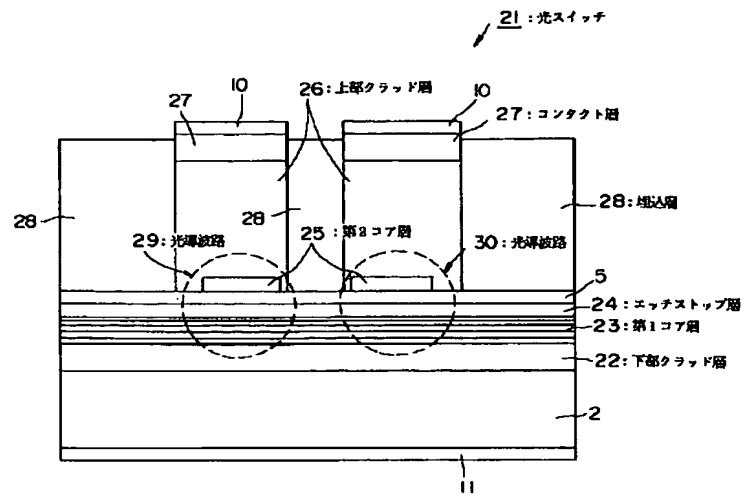
【図20】



【図21】



【図 22】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.